

# Uji Efektifitas Bioetanol Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) Sebagai Bahan Bakar Campuran Bensin Terhadap Unjuk Kerja Mesin Generator

Lucky Anzelina Wijaya, Nurhatika S, dan Sudarmanta B

Departemen Biologi, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: anzelinalucky@gmail.com, nurhatika023@yahoo.com, sudarmanta@me.its.ac.id

**Abstrak**—Pertumbuhan industri dan peningkatan jumlah penduduk berdampak pada peningkatan kebutuhan energi serta peningkatan pencemaran air. Eceng gondok merupakan salah satu gulma yang banyak dijumpai di perairan yang mengalami eutrofikasi. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) memiliki kandungan selulosa 64,51% berat kering. Pretreatment dan hidrolisis 13 Kg eceng gondok kering dapat menghasilkan kadar gula 18%. Hasil dari kadar gula tersebut dapat difermentasi menggunakan mikroorganisme (*Saccharomyces cerevisiae*) sehingga mampu menghasilkan kadar etanol sebesar 5% sebanyak 10 L dan menjadi 95% sebanyak 200 ml setelah destilasi. Hasil uji properties viskositas pertalite 1.42 cSt lebih tinggi dari bioethanol 0.38 cSt sehingga mempengaruhi daya. Hasil unjuk kerja mesin, Daya efektif, Torsi, dan Tekanan efektif rata-rata tertinggi menggunakan E50 bioetanol (50 % bioetanol : 50 % pertalite). Pemakaian bahan bakar spesifik dengan pembebanan 200 watt menunjukkan hasil tertinggi pada E0 pertalite (100% pertalite).

**Kata Kunci**—Bioetanol, Eceng Gondok, Fermentasi, *Saccharomices cerevisiae*.

## I. PENDAHULUAN

**P**ERMASALAHAN yang terjadi di Indonesia saat ini yaitu pertumbuhan penduduk yang sangat cepat, dengan perkembangan bidang industri yang pesat menyebabkan peningkatan permintaan energi dan penurunan kualitas lingkungan [1]. Produksi bahan bakar minyak bumi (fosil) di Indonesia mengalami penurunan 10% setiap tahunnya [2], sedangkan tingkat konsumsi minyak rata-rata naik 6% per tahun [3].

Cadangan bahan bakar minyak Indonesia sangat terbatas, Indonesia hanya memiliki cadangan terbukti yaitu, minyak 3,7 miliar barel atau 0,3% dari cadangan terbukti dunia [4]. Untuk mengimbangi besarnya konsumsi bahan bakar minyak, Indonesia melakukan impor minyak untuk memenuhi kebutuhan energi bahan bakar minyak setiap harinya [5].

Upaya pemerintah untuk mengurangi konsumsi masyarakat terhadap BBM adalah dengan memanfaatkan energi alternative melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Pemerintah juga menargetkan pada tahun 2016 pemanfaatan BBN dapat mencapai angka 5%. Salah satu contoh bahan bakar nabati

adalah bioetanol. Saat ini banyak dilakukan penelitian dan pemanfaatan bioetanol sebagai bahan campuran (aditif) dari bensin yang sering disebut dengan gasohol E-n yang bernilai ekonomis, *renewable* dan ramah lingkungan [6].

Bioetanol merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang mempunyai kelebihan dibandingkan bahan bakar minyak. Bioetanol menghasilkan emisi gas CO lebih rendah bila dibandingkan dengan bahan bakar minyak yaitu sekitar 19-25% [7]. Bioetanol diproduksi dari tanaman yang mengandung biomassa seperti gula, pati, lignoselulosa [8]. Produksi bioetanol dari selulosa umumnya melalui tahapan proses pretreatment, hidrolisis, fermentasi, dan destilasi. Proses pretreatment dilakukan untuk memudahkan pemecahan pati dan selulosa menjadi glukosa [9].

Beberapa penelitian mengenai produksi bioetanol dengan bahan baku eceng gondok telah dilakukan sebelumnya. Eceng gondok mengandung hemiselulosa  $48,70 \pm 0,027\%$  dan selulosa  $18,20 \pm 0,012\%$  berat basah [10], 4,1% pati pada daun eceng gondok [11], mengandung selulosa 64% berat kering. Daun dan batang eceng gondok ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar bioetanol yang sangat potensial. Kadar glukosa dapat diperoleh dari proses pretreatment sebesar 8414,7287 mg/L [12].

Salah satu sumber selulosa yang mudah ditemukan di semua perairan di Indonesia dengan ketersediaannya yang fluktuatif sepanjang tahun dan melimpah di alam adalah eceng gondok. Tumbuhan ini merupakan rumput air yang memiliki kecepatan tumbuh yang tinggi [13], sehingga dianggap sebagai gulma yang dapat merusak lingkungan perairan [11] Eceng gondok sering dianggap merugikan karena jumlahnya yang melimpah dibandingkan dengan pemanfaatannya yang minimum, meskipun demikian eceng gondok dapat juga digunakan sebagai material produksi kertas, *wine*, kerajinan tangan dan biogas [14].

Ketersedian eceng gondok yang melimpah di alam akan menimbulkan limbah dan pencemaran baru. Eceng gondok mengandung selulosa yang dapat diubah menjadi glukosa sebagai sumber karbon untuk produksi etanol ( $C_2H_5OH$ ). Oleh karena itu dilakukan penelitian efektivitas penggunaan

bioetanol dari daun dan batang eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai bahan bakar campuran.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

Eceng gondok ini merupakan salah satu bahan serat alam yang belum banyak dimanfaatkan, ketersediaannya di Indonesia sangat melimpah karena pertumbuhannya yang cepat. Berbagai upaya telah dilakukan untuk memberantas tanaman gulma perairan ini, namun tidak pernah berhasil karena tingkat pertumbuhan tanaman ini lebih cepat dari pembuangannya. Kandungan kimia eceng gondok terdiri atas 60% selulosa, 8% hemiselulosa dan 17% lignin [15], juga senyawa alkaloid, antrakuinon, flavonoid, flobatanin, glikosida jantung, saponin, steroid, terpenoid, kuinon, tanin dan polifenol [16] dan [17].

### B. Bioetanol

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi gula dari bahan nabati [18]. Etanol disebut juga etil etanol dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$  atau  $CH_3CH_2OH$ . Titik didih etanol adalah  $78,4^{\circ}C$ . Etanol memiliki sifat tidak berwarna, volatil, dan dapat bercampur dengan air [19][20]. Etanol dapat dihasilkan melalui proses fermentasi dengan bantuan mikroorganisme *Saccharomices cerevisiae* [20]. Produksi bioetanol dari selulosa umumnya melalui tahapan proses *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi, dan destilasi. Proses *pretreatment* dilakukan untuk memudahkan pemecahan pati dan selulosa menjadi glukosa [6]. *Pretreatment* dapat meningkatkan hasil gula yang diperoleh. Proses *pretreatment* dapat dilakukan dengan menggunakan zat kimia asam seperti  $H_2SO_4$ , HCL, kapur,  $Ca(OH)_2$ , *ammonia fiber expansion* (AFEX), *ammonia recycle percolation* (ARP), katalis, organosol, *sulfite pretreatment to overcome recalcitrance* (SPORL), ozon, oksidasi dengan alkali, jamur pelapuk putih [22].

### C. Uji Properties Bioetanol

Properti bahan bakar adalah sifat atau karakter yang dimiliki oleh suatu bahan bakar yang terkait dengan kinerja bahan bakar tersebut dalam proses atomisasi dan pembakaran. Properti umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar motor bensin antara lain, *Densitas* didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volum bahan bakar pada suhu acuan  $15^{\circ}C$ . Sedangkan *Spesific Gravity* (SG) didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volum minyak bakar terhadap berat air untuk volume yang sama pada suhu tertentu densitas bahan bakar, relatif terhadap air.

$$SG_{\text{terhadap air}} = \frac{\text{densitas bahan bakar}}{\text{densitas air}} \quad (1)$$

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya

dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir dalam jarak tertentu.

$$v = C \cdot t \quad (2)$$

*Flash point* atau titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat dipanaskan sehingga uap mengeluarkan nyala sebentar bila dilewatkan suatu nyala api [23] dan [21].

### D. Unjuk Kerja Mesin

Karakteristik operasi dan unjuk kerja dari mesin Generator Set biasanya berhubungan dengan :

Daya *engine* merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran digunakan peralatan yang dinamakan dynamometer sehingga didapatkan torsi [22]. Daya yang dihasilkan pada mesin dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai Daya Efektif pada Generator (Ne) [21]. Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus :

$$Ne = \frac{V \cdot i \cdot \cos\theta}{746 \times \eta_{\text{gen}} \times \eta_b} \quad (Hp) \quad (3)$$

Torsi adalah hasil pekalian gaya tangensial dengan lengannya sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau ft.lb (British). Dalam satu revolusi dari poros *engine*, titik tertentu yang berada pada diameter terluar rotor (jari-jari, r) akan bergerak sepanjang  $2\pi \cdot r$  melawan gaya kopel (f). Sehingga kerja per-revolusi adalah:

$$\text{Kerja (W)} = 2 \times \pi \times r$$

Tekanan Efektif Rata-rata (bmep) merupakan Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja [24]. Tekanan efektif rata-rata dapat didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif. Perumusan bmep adalah :

$$bmep = \frac{60 \cdot Ne \cdot z}{A \cdot l \cdot n \cdot i \cdot 1,34} \quad (kPa) \quad (4)$$

Pemakaian bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption, sfc*) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai *engine* untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) Hp selama 1 (satu) jam [23]. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar m (kg) dalam waktu s (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar bhp (Hp) maka pemakaian bahan bakar perjam adalah:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{s} \quad \left( \frac{kg}{jam} \right) \quad (5)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah:

$$sfc = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{Ne \cdot s} \quad (kg/Hp.jam) \quad (6)$$

### III. METODOLOGI

#### A. Pretreatment

Daun dan batang eceng gondok sebanyak 13 kg berat kering diambil dari waduk kedurus, Surabaya. *Pretreatment* dilakukan secara fisik, daun dan batang eceng gondok dipisahkan dari akarnya, dicuci bersih, ditiriskan, dan dipotong kecil berukuran 3 cm, kemudian dijemur dibawah terik matahari selama 14 hari.

#### B. Proses Hidrolisis

Bahan hasil *pretreatment* dihidrolisis, ditambahkan 25 L air, dipanaskan hingga mendidih sampai bahan menjadi layu. Bahan yang sudah didinginkan, diberi HCL 7% sebanyak 1 L, diaduk sampai homogen, dan didiamkan selama 4 jam sampai pH 1 – 2, kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C hingga mendidih, kemudian didinginkan dan ditambahkan NaOH 10% sampai pH 4 – 4,5 untuk menetralkan pH.

#### C. Proses Fermentasi

Bahan hasil hidrolisis ditambahkan urea, NPK dan *Saccharomyces cerevisiae*, 1,3% dari volume total larutan, diaduk hingga homogen. Fermentasi dilakukan secara anaerob. Fermentor ditutup rapat dengan tutup galon dan plastisin untuk mencegah kontaminasi. Fermentor menggunakan galon dengan volume 18 L, pada bagian tutup galon dilubangi untuk memberikan selang yang dimasukkan pada fermentor dan ujung selang dihubungkan dengan botol berisi air sebagai indikator fermentasi tersebut berhasil atau tidak. Fermentasi dilakukan selama 9 hari. Fermentasi tersebut berhasil dengan ditandai munculnya banyak gelembung gas pada botol indikator.

#### D. Proses Destilasi

Etanol dengan kadar tinggi, diperlukan destilasi dengan memasukkan kaldu fermentasi ke dalam destilator dengan suhu 80 °C untuk diuapkan. Hasil uap dari kondensor akan keluar melalui lubang kondensor yang dihubungkan dengan selang, Hasil destilasi yang didapatkan yaitu etanol dengan komposisi 95%.

#### E. Pengujian Kadar Etanol

Untuk mengetahui kadar etanol dari hasil destilasi, dilakukan dengan cara mengambil sampel etanol hasil destilasi sebanyak 100 ml, dituangkan pada gelas ukur dan dimasukkan alkoholmeter untuk mengetahui kadar alkohol yang diperoleh.

#### F. Analisis Kadar Gula

Pengukuran kadar gula ditentukan dengan mengoleskan 2-3 tetes sampel larutan hasil sebelum fermentasi dan setelah proses fermentasi ke dalam alat refractometer.

#### G. Pengujian Properties

Setelah didapatkan dan diukur kadar etanol 95%, dilakukan uji properties bioetanol untuk menilai sifat atau karakter bahan bakar yang terkait dengan kinerja bahan bakar mesin

generator, antara lain : Densitas, Specific Gravity, Vikositas dan Flash Point

#### H. Uji Unjuk Kerja Mesin

Uji bioetanol pada unjuk kerja mesin generator dengan perbedaan konsentrasi bahan bakar 100% Peralite, 50% Peralite + 50% bioetanol, 100% bioetanol. Hasil unjuk kerja yang diperoleh diantaranya Daya Efektif (Bhp), Torsi, Tekanan Efektif Rata-Rata (Bmep) dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC).

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan baku lignoselulosa pada eceng gondok dapat dilakukan *pretreatment* menjadi glukosa. Selulosa terdiri atas monomer glukosa yang dihubungkan dengan ikatan  $\beta$ -1,4-glikosida, dengan menghidrolisis ikatan glikosida dapat diperoleh glukosa, yang dimanfaatkan sebagai sumber karbon untuk produksi etanol ( $C_2H_5OH$ ) [24]. Bioetanol dari bahan baku yang mengandung selulosa memerlukan proses *pretreatment* dan hidrolisis untuk menghasilkan glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ) yang selanjutnya akan difermentasi untuk memperoleh bioetanol seperti pada tabel 1.

Tabel 1  
Tabel hasil proses eceng gondok menjadi bioetanol

No.	Perlakuan	Raw Material	Hasil
1.	Pretreatment	39 Kg	13 Kg
2.	Hidrolisis	pH 1	pH 4
3.	Fermentasi	18 L substrat	5% bioetanol 10 L
4.	Gula Reduksi	18%	5%
5.	Destilasi	5 %	95 %
		bioetanol 10 L	bioetanol 200 ml

Proses hidrolisis asam menggunakan HCL 7% yang direndam selama 4 jam hingga Ph 1-2 dan dipanaskan pada suhu 100°C hingga mendidih. Proses ini berfungsi meningkatkan kereaktifan air dan sebagai katalis untuk mempercepat reaksi memecah komponen lignoselulosa menjadi monomer gula dengan hidrolisis menggunakan asam klorida (HCL) [25].

Pada proses fermentasi ini digunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae* yang berupa ragi roti komersial (fermipan). Penggunaan ragi ini bertujuan sebagai agen fermentasi untuk mengubah glukosa yang berasal dari proses hidrolisis menjadi etanol, sesuai penelitian [26], yang menyatakan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* merupakan mikroorganisme yang baik dalam merubah glukosa menjadi etanol. Kadar alkohol yang dihasilkan sebesar 5 % dari proses fermentasi. Kadar alkohol yang dihasilkan ini lebih tinggi dari penelitian [27], dengan bahan baku yang sama yaitu 4,70 %. Pada proses uji unjuk kerja mesin diperlukan kadar etanol minimal yaitu 95 %, sehingga dari proses fermentasi yang menghasilkan kadar alkohol 5 % diperlukan proses destilasi [28].

Pada fermentasi etanol *Saccharomyces cereviceae* mengubah glukosa menjadi etanol melalui jalur Embden

Mayerhof Parnas Pathway (EMP). Satu molekul glukosa akan membentuk 2 molekul etanol dan  $\text{CO}_2$ . Sehingga berdasarkan bobotnya secara teoritis 1 gram glukosa akan menghasilkan 0,51 gram etanol. Menurut [20], penelitiannya menunjukkan bahwa kombinasi antara waktu fermentasi yang lama dan jumlah ragi yang banyak akan menghasilkan etanol dengan kadar alkohol yang tinggi.

Pada proses perombakan gula menjadi etanol *Saccharomyces cereviceae* membutuhkan nutrisi untuk pertumbuhannya. Nutrisi ini dapat dipenuhi dengan penambahan NPK dan urea. Dalam fermentasi bioetanol, pupuk ditambahkan sebagai tambahan nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme fermentasi.  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$  (Urea) dan  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  (NPK) berfungsi sebagai sumber nutrisi atau makronutrien pertumbuhan mikroba pada proses fermentasi [20].

*Saccharomyces cerevisiae* merupakan organisme fakultatif yang dapat menggunakan dengan baik sistem aerob maupun anaerob dengan memperoleh energi dari pemecahan glukosa. *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan alkohol dalam jumlah besar. Pada kondisi anaerob proses fermentasi berjalan lebih cepat sedangkan proses pertumbuhan berjalan lambat. Apabila terdapat aerasi, kecepatan fermentasi menurun dan sebaliknya proses respirasi lebih aktif [29]. Jika tujuan penggunaan *Saccharomyces cerevisiae* adalah untuk menghasilkan alkohol maka dibutuhkan kondisi anaerob, tetapi untuk pembuatan starter (biakan awal) diperlukan kondisi aerob [30]. *Saccharomyces cerevisiae* juga menghasilkan enzim glukamilase, agar dihasilkan gula reduksi yang lebih banyak. Keberhasilan fermentasi akan tampak adanya gelembung udara pada selang fermentor. Adanya gelembung udara ini mengindikasikan adanya produk sampingan yaitu  $\text{CO}_2$  ini mengindikasikan bahwa mikroorganisme dalam fermentasi menggunakan NPK dan urea sebagai nutrisi untuk pertumbuhan dan melakukan metabolisme [30].

Kadar etanol yang dihasilkan setelah fermentasi masih rendah untuk digunakan dalam uji unjuk kerja mesin, sehingga untuk meningkatkan kadar etanol perlu dilakukan proses destilasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan [28], bahwa untuk meningkatkan kemurnian bioetanol dari fermentasi, maka harus melalui proses destilasi.

Kadar gula reduksi sebelum fermentasi menunjukkan hasil 18% yang tergolong cukup bagus untuk digunakan sebagai kaldu fermentasi. Sedangkan hasil akhir setelah fermentasi menunjukkan penurunan hasil menjadi 5%. Penurunan kadar gula reduksi dapat disebabkan karena kandungan gula digunakan oleh khamir komersial (*S. cerevisiae*) sebagai sumber karbon [6]. Kandungan gula tersebut kemudian akan dikonversi menjadi bioetanol oleh khamir komersial (*S. cerevisiae*).

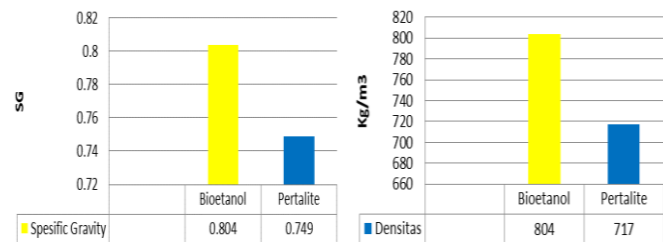
Dalam menganalisis properties bahan bakar digunakan standarisasi. Standarisasi yang digunakan dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Direktorat Jendral Energi, Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, nomor 7390: tahun

2012, PT 27-04 Bioenergi ICS 27.190 tentang Bioetanol terdenaturasi untuk gasohol (BSN, 2012).

### 1) Analisis Uji Properties

#### a. Analisis densitas, Specific Gravity, dan API Gravity

Specific Gravity (SG) merupakan perbandingan antara densitas suatu bahan bakar terhadap densitas air. Besarnya nilai SG bahan bakar akan sebanding dengan besarnya nilai densitas dan berbanding terbalik terhadap nilai *API gravity* [21]. Berdasarkan pengukuran, nilai *Specific Gravity* bioetanol murni dari eceng gondok dengan pentalite, dapat dilihat pada gambar 1.

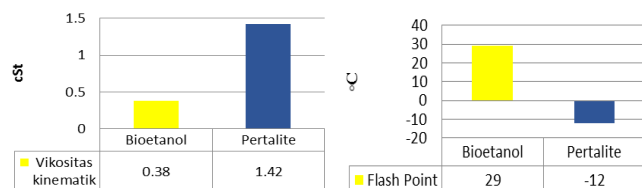


Gambar 1. *Specific Gravity* bioetanol dan pentalite (SG) dan Grafik Densitas Bioetanol dan Pentalite ( $\text{Kg/m}^3$ )

Berdasarkan grafik diatas, nilai *specific gravity* bioetanol lebih besar dibandingkan pentalite. Hal ini dikarenakan dalam bioetanol masih terdapat gliserol dan fatty acid yang mempunyai nilai SG yang tinggi. Oleh karena itu, dengan masih terdapatnya kandungan gliserol dan fatty acid dalam minyak nabati murni maka *specific gravity* akan semakin tinggi pula [21].

Besarnya nilai SG mempengaruhi nilai densitas suatu bahan bakar. Dengan semakin besar SG maka semakin besar pula densitasnya. Densitas merupakan perbandingan massa suatu bahan bakar terhadap volume tertentu. Sehingga pada volume yang sama, bahan bakar dengan densitas tertinggi akan memiliki massa paling tinggi juga. Berdasarkan pengukuran, nilai densitas dapat dilihat pada gambar 1.

Secara umum nilai densitas bioetanol lebih tinggi dibanding pentalite. Oleh karena itu pada volume yang sama massa bahan bakar bioetanol yang diinjeksikan ke dalam silinder akan lebih banyak daripada pentalite [21].



Gambar 2. Grafik Viskositas kinematik bioetanol dengan pentalite (cSt) dan Grafik Flash Point ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### b. Analisis Viskositas Kinematik

Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injector pada mesin. Atomisasi



bahan bakar sangat tergantung pada viskositas kinematik, tekanan injeksi, dan ukuran lubang injeksi. Viskositas lebih tinggi akan membuat bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang lebih besar dengan momentum tinggi dan memiliki kecenderungan untuk pertumbukan dengan dinding silinder yang relatif lebih dingin. Viskositas kinematik yang relatif lebih tinggi mempunyai sifat pelumasan yang lebih baik [21].

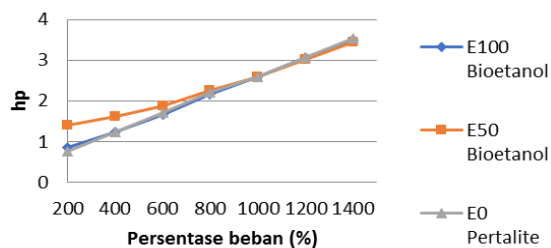
### c. Analisis Flash Point

Flash point adalah temperatur terendah dimana bahan bakar yang dipanaskan mampu menghasilkan campuran uap bahan bakar udara yang dapat menyala ketika ada sumber api yang didekatkan. Flash point pada bioetanol dari eceng gondok diperoleh hasil pada gambar 2.

## 2) Analisis Uji Unjuk Kerja Mesin

### a. Daya mengindikasikan besarnya kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja persatuan waktu.

Daya efektif mesin atau brake horse power (bhp) adalah daya yang dikeluarkan oleh poros mesin [23]. Daya mesin adalah jumlah energi yang dihasilkan mesin setiap waktunya [21]. Pada gambar 3 akan terlihat bahwa grafik kenaikan daya berbanding lurus dengan kenaikan beban.



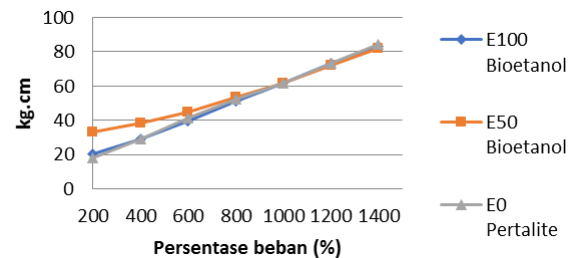
Gambar 3. Grafik daya efektif terhadap persentase beban.

Pada gambar 3 terlihat bahwa semakin tinggi beban yang diberikan, maka bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang bakar semakin banyak. Daya efektif tertinggi dihasilkan dari E50 bioetanol (50 % bioetanol : 50 % peralite) yaitu dengan (hp 1.398169278) pada pembebanan 200 watt dan semakin tinggi pada pembebanan 1400 watt dengan (hp 3.441647454). Hal tersebut dilakukan untuk menjaga putaran mesin tetap konstan. Sedangkan pada E100 bioetanol (100 % bioetanol) lebih rendah 19.64 % dibandingkan E50 bioetanol dan E0 peralite (100 % peralite) menunjukkan hasil terendah.

Hal tersebut dapat terjadi karena nilai kalor peralite (46.5 MJ/Kg) dengan nilai kalor bioetanol (35.7 MJ/Kg) (Dimas dan Ansori, 2017), menjadi lebih tinggi dan nilai densitas bioetanol (804 Kg/m<sup>3</sup>) lebih tinggi daripada peralite (717 Kg/m<sup>3</sup>). Daya yang dikeluarkan dari pengoperasian mesin akan ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya kualitas bahan bakar, terutama komposisi yang mudah terbakar dan nilai kalor, kualitas campuran gas dan pembakaran, efisiensi mesin untuk mengubah bahan bakar campuran yang mudah terbakar menjadi energi mekanik [31].

### b. Analisis Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi [31]. Makin tinggi beban yang diberikan, maka torsi yang dihasilkan juga akan naik. Hal ini disebabkan ketika beban ditambahkan maka bahan bakar yang diinjeksikan juga akan bertambah untuk menjaga putaran tetap konstan [21]. Pada gambar 4 akan terlihat kenaikan nilai torsi sebanding dengan beban yang diberikan.



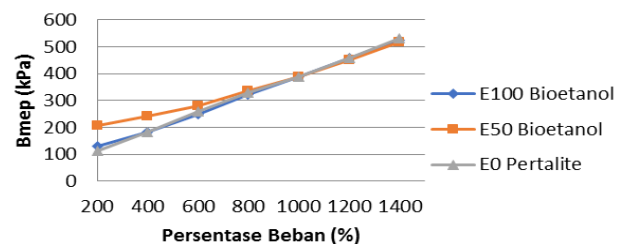
Gambar 4. Grafik torsi terhadap persentase beban

Gambar 4 menunjukkan nilai tertinggi dihasilkan dari E50 bioetanol (50 % bioetanol : 50 % peralite) yaitu dengan (33.183 kg/cm) pada pembebanan 200 watt dan terus mengalami peningkatan sebanding dengan penambahan beban. Sedangkan nilai terendah ditunjukkan oleh E0 peralite (100 % peralite) dengan nilai (17.905 kg/cm) pada pembebanan 200 watt.

Hal ini disebabkan oleh nilai kalor peralite (46.5 MJ/Kg) lebih tinggi dari nilai kalor bioetanol (35.7 MJ/Kg) [32] dan viskositas peralite yang lebih tinggi. Nilai viskositas yang semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi dan energi yang dihasilkan semakin besar [21]. Besarnya torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya [31].

### c. Analisis Tekanan Efektif Rata-Rata (Bmep)

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif. Dari gambar 5 terlihat bahwa Bmep naik seiring dengan penambahan beban.



Gambar 5. Grafik Tekanan Efektif Rata-Rata Terhadap Persentase Beban

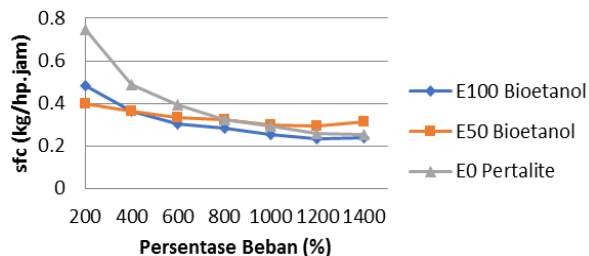
Dari gambar 5 terlihat bahwa Bmep naik seiring dengan penambahan beban. Nilai tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan oleh mesin pada grafik 5 menunjukkan hasil tertinggi dari E50 bioetanol (50 % bioetanol : 50 % peralite) yaitu dengan ( 208.5052126 kPa ) pada pembebanan 200 watt

dan semakin tinggi pada pembebanan 1400 watt dengan (516.0129003 kPa). Sedangkan pada E100 bioetanol (100 % bioetanol) lebih rendah 19.64 % dibandingkan E50 bioetanol ( 50 5 bioetanol : 50 % pertalite ) dan E0 pertalite ( 100 % pertalite) menunjukkan hasil terendah. Hal tersebut dapat terjadi karena nilai kalor pertalite (46.5 Mj/Kg) lebih tinggi dibanding dengan nilai kalor bioetanol (35.7 Mj/Kg) [32].

Nilai kalor akan mempengaruhi tekanan efektif yang dihasilkan oleh mesin dan tekanan efektif akan meningkat sebanding dengan beban yang diberikan. Bertambahnya beban maka tekanan yang diberikan terhadap piston harus bertambah pula. Untuk menghasilkan tekanan yang lebih tinggi, maka energi yang dibutuhkan juga harus lebih besar. Besarnya Bmep dipengaruhi oleh besarnya nilai kalor, karena energi yang dilepaskan juga semakin besar. Tekanan langkah piston akan mengakibatkan daya meningkat. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan kinerja mesin yaitu dengan tekanan efektif. Tekanan efektif (bmep) merupakan konstanta teoritis, jika itu terjadi pada piston saat bekerja dan akan menghasilkan tekanan yang sama dalam satu putaran [31].

#### d. Analisis Konsumsi Bahan Bakar

Pemakaian bahan bakar spesifik (Spesifik Fuel Consumption) didefinisikan sebagai jumlah bahan bakar yang dikonsumsi engine untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 hp selama 1 jam [31]. Pada gambar 6 dapat dilihat nilai dari konsumsi bahan bakar terhadap beban.



Gambar 6. Grafik konsumsi bahan bakar spesifik terhadap persentase beban

Pada gambar 6. pemakaian bahan bakar spesifik dengan pembebanan 200 watt menunjukkan hasil tertinggi pada E0 pertalite (100% pertalite) yaitu (0.748952026 kg/hp.jam) dan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya pembebanan sampai dengan pembebanan 1200 watt. Konsumsi bahan bakar akan mengalami kenaikan mencapai 70 % pada pembebanan tertentu yaitu pada grafik 4.6 ditunjukkan pada pembebanan 1400 watt. Sfc (Spesifik Fuel Consumption) merupakan representasi keefektifan mesin dalam mengkonsumsi bahan bakar. Makin rendah nilai sfc maka tingkat keefektifan bahan bakar makin tinggi atau dengan kata lain lebih irit [24]. Dari data grafik 4.6 menunjukan semakin bertambahnya beban, pemakaian bahan bakar spesifik cenderung turun.

## V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Daun dan batang eceng gondok segar sebanyak 39 Kg yang dikeringkan menjadi 13 Kg dan dihidrolisis dapat menghasilkan kadar gula 18%.
2. Hasil dari fermentasi mampu menghasilkan kadar etanol sebesar 5% sebanyak 10 L.
3. Kadar etanol dengan destilasi, mencapai hasil sebanyak 200 ml dengan kadar 95%.
4. Hasil uji properties viskositas pertalite 1.42 cSt lebih tinggi dari bioethanol 0.38 cSt sehingga mempengaruhi daya.
5. Daya efektif tertinggi dihasilkan dari E50 bioetanol (50 % bioetanol : 50 % pertalite).
6. Torsi tertinggi dihasilkan dari E50 bioetanol (50 % bioetanol : 50 % pertalite).
7. Tekanan efektif rata-rata tertinggi dari E50 bioetanol (50 % bioetanol : 50 % pertalite).
8. Pemakaian bahan bakar spesifik dengan pembebanan 200 watt menunjukkan hasil tertinggi pada E0 pertalite (100% pertalite).

## SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dilakukan pengajuan saran terhadap penelitian selanjutnya antara lain :

1. Perlu dilakukan penelitian dengan melakukan pemilihan bahan baku yang mengandung selulosa lebih besar sehingga mampu menghasilkan kadar gula lebih tinggi
2. Proses *pretreatment* menggunakan asam perlu dilakukan pengulangan dengan *pretreatment* menggunakan enzim untuk menghasilkan kadar gula yang lebih tinggi, sehingga hasil dari fermentasi memiliki kadar etanol tinggi.
3. Proses destilasi perlu dilakukan pengulangan untuk menghasilkan kadar etanol mencapai 99 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Widodo, "Rekayasa dan pengujian reaktor biogas skala kelompok tani ternak," *J. Enjiring Pertan.*, pp. 41–52, 2006.
- [2] H. Lin, Y., Zhang, W., Li, C., Sakakibara, K., Tanaka, S., & Kong, "Factors affecting ethanol fermentation using *saccharomyces cerevisiae* BY4742," *J Biomass Bioenergy*, vol. 47, pp. 395–401, 2012.
- [3] D. and S. G. H. Asteriou, "Applied Econometrics : A Modern Approach," in *Data Produk Domestik Bruto, Inflasi dan Indeks Harga Konsumen (IHK) periode 2000 – 2011*, New York, 2007.
- [4] K. E. dan S. D. Mineral, *Permen ESDM No.14 Tahun 2012, tentang manajemen energi*. Jakarta, 2012.
- [5] Rama, *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi & Kelangkaan BBM*. Jakarta: PT ArgoMedia Pustaka, 2007.
- [6] Azizah, "Pengaruh lama fermentasi terhadap kadar alcohol, pH, dan produksi gas pada proses fermentasi bioetanol dari whey dengan substitusi kulit nanas," Universitas Diponegoro, 2012.
- [7] D. . Syam, K.L., Farikha, J., dan Fitriana, "Pemanfaatan Limbah Pod Kakao Untuk Menghasilkan Bioetanol Sebagai Sumber Energi Terbarukan," Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [8] K. B. Kim, T. H., Taylor, F., Hicks, "Bioethanol production from barley hull using SAA (soaking in aqueous ammonia) pretreatment," *Bioresour. Technol.*, vol. 99, pp. 5694–5702, 2008.
- [9] T. dan Karimi, "Review : Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 9, pp. 1621–1651, 2008.
- [10] and Y. Z. H. Lin, B. Wang, R. Zhuang, Q.C. Zhou, "Artificial construction and characterization of a fungal consortium that produces cellulolytic enzyme system with strong wheat straw saccharification," *Bioresour. Technol.*, vol. 102, pp. 10569–10576, 2011.
- [11] R. . Astuti, "Analisis Kandungan Nutrisi pada Eceng Gondok," Institute Peratanian Bogor, 2008.
- [12] F. dan Yulinah, "PRODUKSI BIOETANOL DARI ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) dengan *Zymomonas mobilis* dan

- Saccharomyces cerevisiae*,” ITS, 2011.
- [13] P. . Deshpande, S.K., Bhotmange, M.G., Chakrabarti, T., dan Shastri, “Production of Cellulase and Xylanase by *Trichoderma reesei* (QM 9414 Mutant), *Aspergillus niger* and Mixed Culture by Solid State Fermentation (SSF) of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*),” *Indian J. Chem. Technol.*, vol. 15, pp. 449–456, 2008.
- [14] N. Umsakul, K., Dissara, Y., dan Srimuang, “Chemical, Physical and Microbiological Changes during Composting of the Water Hyacinth,” *Pakistan J. Biol. Sci.*, vol. 13, no. 20, pp. 985–992, 2010.
- [15] A. N. Ahmed, A.F., Moahmed A, *Pretreatment and enzymic saccharification of water hyacinth cellulose*. 2012.
- [16] V. Lata, N., dan Dubey, “Preliminary Phytochemical Screening of *Eichhornia crassipes*: The World’s Worst Aquatic Weed,” *J. Pharm. Res.*, vol. 3, no. 6, pp. 1240 – 1242, 2010.
- [17] A. Widyaningrum, H. dan Rahmat, *Kitab Tanaman Obat Nusantara*. Yogyakarta: MedPress, 2011.
- [18] T. Anindyawati, “Prospek Enzim dan Limbah Lignoselulosa untuk Produksi Bioetanol,” Bogor, 2009.
- [19] dan I. Kartika, B., Guritno, A. D., “Petunjuk Evaluasi Produk Industri Hasil Pertanian,” Yogyakarta, 1997.
- [20] S. H. Endah D.H., Erma P., “EFEKTIFITAS PENAMBAHAN RAGI DAN PUPUK TERHADAP KADAR ALKOHOL BIOETANOL DENGAN BAHAN BAKU JAMBU CITRA,” Universitas Diponegoro, 2015.
- [21] S. D. Setiyadi B., “Studi eksperimental pengaruh pengguna minyak nabati murni (Straight Vegetable Oil) dari biji jarak, Wijen, Zaitun dan kelapa sawit terhadap unjuk kerja mesin disel putaran konstan,” ITS, 2009.
- [22] and K.-J. C. Lee, S.S., J.K.Ha, H.S.Kang, T. McAllister, “Overview of energy metabolism, substrate utilization and fermentation characteristics of ruminal anaerobic fungi,” *Korean J. Anim. Nutr. Feed.*, vol. 21, pp. 295–314, 1997.
- [23] S. I. . Sudarmanta, B., Junipitoyo, B., Putra A.B.K., “INFLUENCE OF THE COMPRESSION RATIO AND IGNITION TIMING ON SINJAI ENGINE PERFORMANCE WITH 50% BIOETHANOL GASOLINE BLENDED FUEL,” *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 4, 2016.
- [24] S. Kamara, D.S., Rachman, S.D., dan Gaffar, “Degradasi Enzimatik Selulosa dari Batang Pohon Pisang untuk Produksi Enzim Selulase dari Kapang *Trichoderma viride*,” Universitas Padjajaran, 2006.
- [25] dan S. B. Erdei, B., Barta Z., “Etanol Production From Mixtures Of Wheat Straw and Wheat Meal,” *Biotechnol.*, vol. 3, no. 16, 2010.
- [26] A. M. and S. S. Rahayu, “Essential Oil from Extraction and Steam Distillation of *Ocimum Basilicum*,” in *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2007*, 2007.
- [27] C. Amaral, “PEMANFAATAN SAMPAH DAUN ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) MENJADI BIOETANOL DENGAN PROSES FERMENTASI SEBAGAI SOLUSI ENERGI ALTERNATIF,” Universitas Diponegoro, 2012.
- [28] S. Benjaphokee, S., Hasegawa, D., Yokota, D., Asvarak, T., Auesukaree, C., Sugiyama, M., Kaneko, Y., Boonchird, C., Harashima, “Highly efficient bioethanol production a *Saccharomyces cerevisiae* strain with multiple stress tolerance to high temperature, acid, and ethanol,” *N. Biotechnol.*, vol. 29, no. 3, pp. 379–86, 2012.
- [29] N. . Chisilia, “Pemanfaatan *Saccharomyces cerevisiae* Dalam Sistem Microbial Fuel Cell Untuk Produksi Energi Listrik,” Universitas Indonesia, 2011.
- [30] M. K. Rini, “OPTIMALISASI FERMENTOR UNTUK PRODUKSI ETANOL DAN ANALISIS HASIL FERMENTASI MENGGUNAKAN GAS CHROMATOGRAFI,” Universitas Gadjah Mada, 2014.
- [31] S. B., “DUAL FUEL ENGINE PERFORMANCE USING BIODIESEL AND SYN-GAS FROM RICE HUSK DOWNDRAFT GASIFICATION FOR POWER GENERATION,” ITS, 2015.
- [32] D. dan Ansori, “STUDI KOMPARASI PERFORMA MESIN BERBAHAN BAKAR PERTALITE DENGAN CAMPURAN PREMIUM DAN PERTAMAX PADA BERBAGAI VARIASI PADA SEPEDA MOTOR NEW HONDA VARIO 110 FI,” UNESA, 2017.